

Elektrociepłownie jądrowe

Prąd elektryczny jako nośnik energii jest fundamentem naszej współczesnej cywilizacji. Wystarczy sobie wyobrazić, co się będzie dziać, gdy zostaniemy odcięci od prądu np. w wyniku jakiejś awarii czy kataklizmu. Nie tylko, że nie będzie światła, nie będzie możliwości zagotowania wody, rozmrozi się lodówka, lecz także nie będzie można zatelefonować, kupić w sklepie (kasy fiskalne), wypłacić z banku pieniędzy. Lepiej sobie nie wyobrażać utknięcia w windzie. Totalna katastrofa. Prąd elektryczny jest najwygodniejszym nośnikiem energii, gdyż łatwo go zamienić na inne formy energii (ciepło, światło, energię mechaniczną). Ludzkość ma ogromne zapotrzebowanie na energię elektryczną, które stale wzrasta, ponieważ kraje rozwijające się też chcą korzystać z jego dobrodziejstwa. Prąd musimy wytwarzać. Jednym ze sposobów są elektrownie jądrowe.

Przypomnijmy wiadomości niezbędne do zrozumienia zasady działania elektrowni jądrowej. Chodzi o prawo indukcji elektromagnetycznej nazwane prawem Faradaya, które pozwoli zrozumieć zasadę działania generatora prądu elektrycznego, czyli serca każdej elektrowni.

Gdy już to będziemy wiedzieć, pozostanie zrozumieć, w jaki sposób wykorzystuje się energię rozszczepienia jąder atomowych do wytwarzania gorącej pary wodnej, która w elektrowniach obraca turbiny. Tym razem chodzi o słynny wzór Einsteina $E = mc^2$, który mówi o równoważności masy i energii.

To w zasadzie wszystko, w wielkim uproszczeniu dwa prawa fizyki, które stworzyły współczesną cywilizację. Rzecz jasna to jedynie pozór, że sprawa jest aż tak prosta. Setki wynalazców, fizyków i inżynierów (wspomnę tylko Edisona i naszego ex prezydenta Ignacego Mościckiego) przyczyniły się do opanowania technik budowy rozmaitych elektrowni. I ciągle jeszcze kolejne pokolenia fizyków i inżynierów będą miały wiele do zdziałania.

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej, czyli skąd się bierze prąd elektryczny

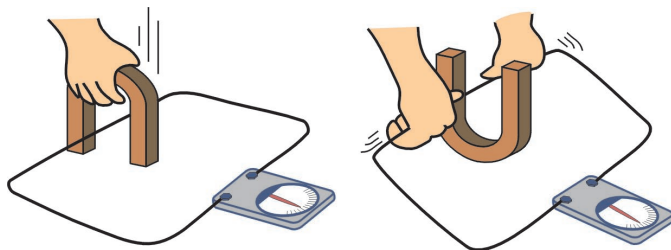
Ludzkość stopniowo odkrywała prawa elektromagnetyzmu. Na początku nie bardzo zdawano sobie sprawę z tego, że zjawiska elektryczne i magnetyczne stanowią jedność.

Gdy przez przewodnik (np. w kształcie cewki) płynie prąd elektryczny, to taki przewodnik zachowuje się jak magnes. Innymi słowy, poruszające się ładunki elektryczne są źródłem pola magnetycznego.

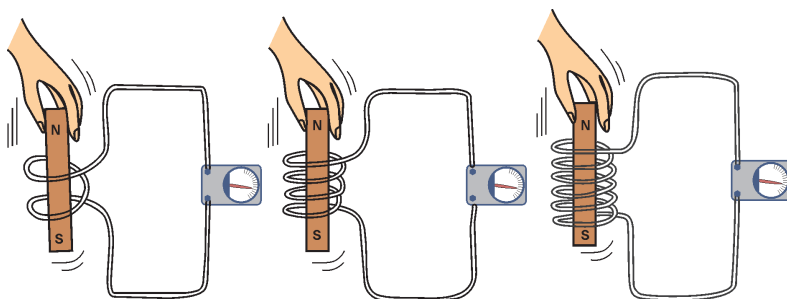
Faraday chciał znaleźć zjawisko niejako odwrotne, czyli w jaki sposób dzięki polu magnetycznemu wygenerować prąd elektryczny. Odkrył on, że można wyindukować (czyli wytworzyć) prąd elektryczny za pomocą **zmiennego** pola magnetycznego. Na poniższych ilustracjach są pokazane konkretne sytuacje powodujące przepływ prądu w rameczce (obwodzie). Woltomierz narysowano, aby było jasne, że powstaje napięcie elektryczne.



Rys. 1. Przy wsuwaniu magnesu do zwojnicy wytwarza się w niej siła elektromotoryczna wprawiająca w ruch ładunki elektryczne



Rys. 2. W przewodniku indukuje się siła elektromotoryczna niezależnie od tego, czy magnes porusza się względem ramki, czy ramka porusza się względem magnesu



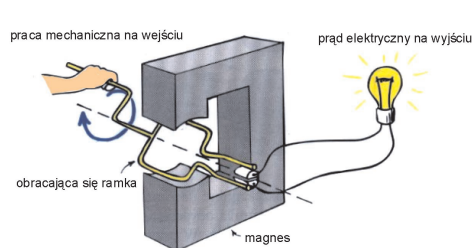
Rys. 3. Siła elektromotoryczna indukowana przez ruch magnesu jest wprost proporcjonalna do liczby zwojów

Przedstawione zjawisko ma ściśle sformułowanie i dokładny matematyczny zapis, którego tu nie przytaczamy.

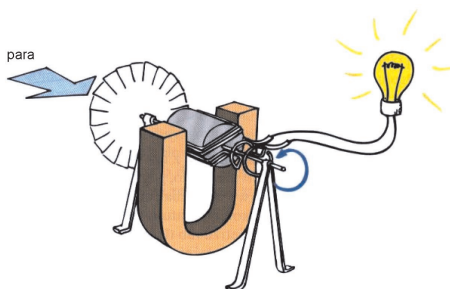
Prądnica

Z powyższych sytuacji najpraktyczniejsza jest ta, w której ktoś obraca rameczkę umieszczoną w polu magnetycznym magnesu.

I tu już mamy praktyczne dynamo. Zamiast samemu kręcić korbką, można zaprząć do pracy gorącą parę wodną. W ten sposób mamy już elektroturbinę, przedstawioną na ilustracji poniżej.



Rys. 4. Najprostszy model prądnicy. Napięcie jest indukowane w ramce obracającej się w polu magnetycznym



Rys. 5. Para wodna napędza łopatki koła turbiny, które są połączone z innymi elementami generatora

Nie zajmujemy się tu rozwiązaniami technicznymi.

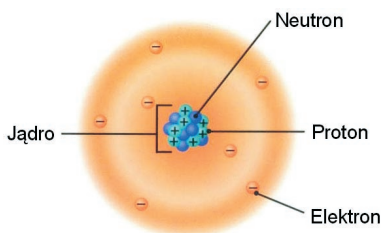
Paliwo jądrowe – produkcja gorącej pary wodnej

W wielu tradycyjnych elektrowniach do produkcji gorącej pary wodnej wykorzystuje się energię chemiczną, czyli mówiąc potocznie, spala się węgiel lub ropę. Węgiel łącząc się z tlenem w CO_2 oddaje otoczeniu energię cieplną.

W XX wieku fizycy odkryli, że w trakcie niektórych reakcji jądrowych wydzielana jest bardzo duża energia. Zarówno w elektrowniach konwencjonalnych (np. na węgiel) jak i jądrowych w podobny sposób wykorzystuje się parę wodną do wytwarzania energii elektryczności.

Energia wiązania jąder. Reakcje jądrowe

W celu zrozumienia działania reaktora, serca elektrowni jądrowej, przypomnijmy jak zbudowane są jądra atomów.



Rys. 6. Budowa atomu

Atomy są neutralne, czyli nienaładowane elektrycznie; mają maleńkie jądra naładowane dodatnio, które są otulone chmurą elektronów (ujemnych) tak, że sumaryczny ładunek całego atomu jest równy zeru.

Ładunek otoczki dyktuje liczba elektronów, którą oznacza się zwykle **Z**. Z jest identyfikatorem pierwiastków. Na przykład atom o $Z = 1$ to wodór, $Z = 2$ – hel, $Z = 6$ – węgiel, $Z = 8$ – tlen, $Z = 13$ – żelazo.

Jądra pierwiastków mają taki sam co do wartości ładunek (tyle, że dodatni), zgromadzony w protonach. Oprócz protonów oznaczanych przez **p**, w jądrach znajduje się pewna liczba neutronów, neutralnych cząsteczek bardzo podobnych do protonów (oznaczanych literą **n**). Sumaryczna liczba protonów i neutronów nazwana została liczbą masową **A**. Nazwa jest usprawiedliwiona, bowiem masa całego atomu skupiona jest praktycznie w jądrze, elektrony są bardzo lekkie (2000 razy lżejsze od protonów).

Przyjęto się używanie notacji, w której przy symbolu pierwiastka z lewej strony u dołu podaje się liczbę Z , zaś u góry A . I tak na przykład ${}_{92}^{235}\text{U}$ oznacza atom uranu ($Z = 92$, a $A = 235$ jest sumą 92 protonów i 143 neutronów), ${}_{36}^{91}\text{K}$ oznacza krypton, a ${}_{56}^{142}\text{Ba}$ – bar. Neutron można zapisać jako ${}_0^1\text{n}$, a proton, czyli jądro wodoru, ${}_1^1\text{p}$.

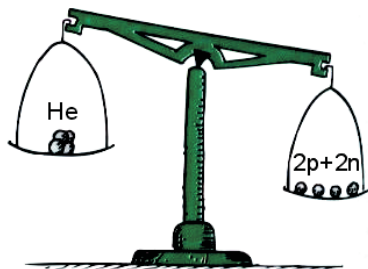
Protony i neutrony noszą wspólną nazwę **nukleonów**. **A** jest liczbą nukleonów w jądrze. Bywają jądra z tym samym **Z**, lecz o różnej liczbie neutronów – nazywamy je wtedy izotopami danego pierwiastka.

Składniki jądra – protony i neutrony – musi coś sklejać razem, by utrzymały się w małej objętości. Nie zapominamy, że protony są naładowane elektrycznie, a jednoimienne ładunki odpychają się, i to tym bardziej, im bliżej siebie się znajdują. Siły, które sklejają nukleony razem to **siły jądrowe**. Nazywamy je oddziaływaniami silnymi, bo są silne w porównaniu z oddziaływaniem elektrycznym.

Utrzymanie jądra w całości nie odbywa się za darmo, jest jego dobrze określona cena, tak zwana **energia wiązania**, która objawia się jako **deficyt masy**.

Otóż wyobraźcie sobie wszystkie składniki jądra helu na jednej szalce wagi (dwa protony i dwa neutrony) luzem, a na drugiej szalce jądro helu (cząstkę alfa).

Jądro helu waży mniej. Po sklejeniu (fuzji) ubyło masy, co jest charakterystyczne dla jąder lekkich pierwiastków.

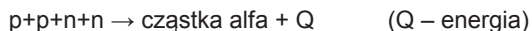


Rys. 7. Dwa swobodne protony i dwa swobodne neutrony ważą więcej niż będące ich połączeniem jądro helu

Fizycy odkryli, że nie wszystkie jądra są jednakowo mocno związane. Aby porównywać energię wiązania operujemy energią wiązania na jeden nukleon w jądrze. Jądro żelaza jest mocno związane, ale już na przykład jądro uranu lżejsze. Wystarczy trącić jądro uranu neutronem, a rozpadnie się ono na dwa lżejsze jądra i dodatkowe neutrony.

Bystry czytelnik zauważył, że raz mówimy o ubytku masy, a innym razem o energii wiązania. Mamy do tego prawo. Einstein stwierdził, i niezliczone eksperymenty to potwierdziły, że masa jest równoważna energii (słynny wzór $E = mc^2$, gdzie E – energia, m – masa, c – prędkość światła w próżni).

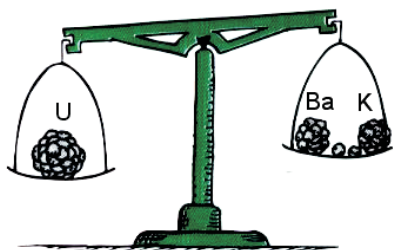
Ponieważ **obowiązuje w przyrodzie prawo zachowania energii, oznacza to, że ubytek masy musi być zrównoważony energią**. I rzeczywiście tak jest. Gdyby doszło np. do spontanicznego procesu połączenia dwóch protonów i neutronów w jądro helu, powinno się wydzielili dużo energii. Reakcje jądrowe, przypominające przykładową reakcję:



zachodzą na Słońcu; o tym opowiadamy w kolejnym artykule.

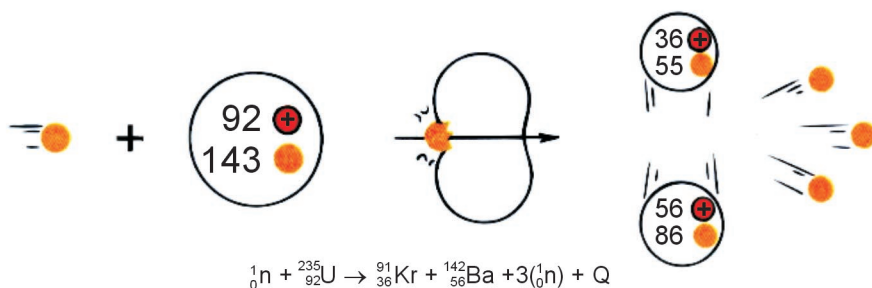
Można zapytać, czy taki efekt zachodzi również w reakcjach chemicznych. Przy połączeniu węgla z tlenem powstaje dwutlenek węgla i energia. Czy cząsteczka CO_2 ma mniejszą masę niż atom węgla i dwa atomy tlenu? Oczywiście tak, tyle tylko, że są to różnice niewykrywalne nawet na najlepszych wagach laboratoryjnych. Ale gdybyśmy tak wzięli już hurtowe ilości składników, to można by się dopatrzeć jakiś gramów różnicy.

W reaktorach jądrowych wykorzystuje się energię wydzielaną przy rozpadzie jąder np. uranu. W jego przypadku mamy bowiem sytuację taką, jak zilustrowano poniżej.



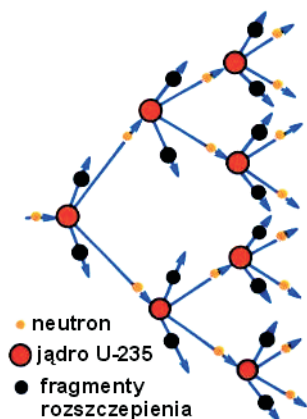
Rys. 8. Fragmenty rozszczepienia ciężkiego jądra uranu mają mniejszą masę niż jądro uranu, z którego powstają

Jądro uranu uderzone lekko neutronem rozpada się, co jest cechą charakterystyczną wielu ciężkich jąder. Oto przebieg reakcji jądrowej wykorzystywanej w reaktorach:



Rys. 9. Przebieg reakcji jądrowej

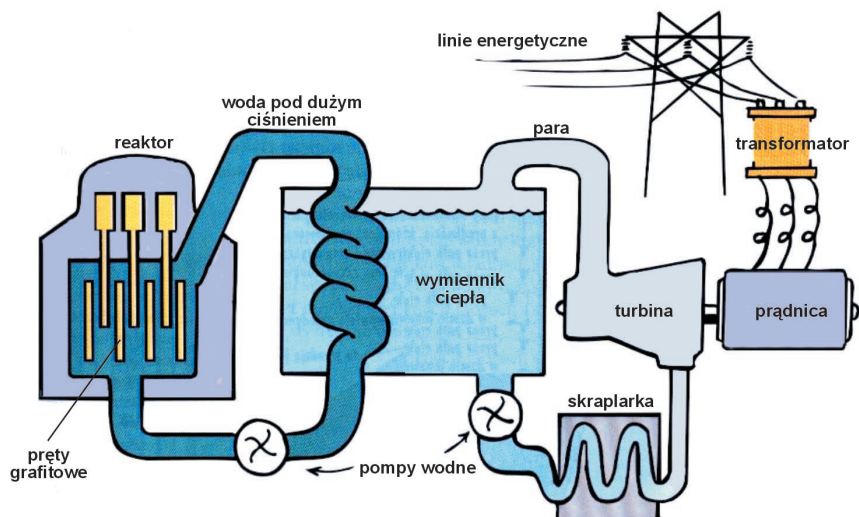
W tym procesie wydzielą się energia, a powstałe neutrony mogą być użyte do kolejnych reakcji. Powstaje możliwość zaistnienia tak zwanej reakcji łańcuchowej.



Rys. 10. Reakcja łańcuchowa

Problem polega na tym, że neutrony wytworzone podczas reakcji są za szybkie. By neutron mógł lekko trącić kolejne jądro musi zostać spowolniony. Do tego służą moderatory. Nie tylko spowalniają, ale też regulują ilość neutronów na takim poziomie, by reakcja jądrowa zachodziła w stałym tempie. Zbyt duży wzrost liczby neutronów grozi reakcją niekontrolowaną i wybuchem. Przy spowalnianiu neutrony oddają energię, która w reaktorach jest wykorzystana do wytwarzania gorącej pary wodnej. W czasie II wojny światowej fizycy chcieli stosować tzw. ciężką wodę jako moderator neutronów.

Do kontroli tej reakcji w reaktorze mogą na przykład służyć pręty grafitowe, zwykle rysowane schematycznie na ilustracjach reaktorów.



Rys. 11. Schemat elektrowni jądrowej

W następnym *Neutrinie* wyjaśnimy zalety i wady elektrowni jądrowej, w tym problem zabezpieczania produktów rozpadu jądra uranu. Zajmiemy się bezpieczeństwem elektrowni jądrowych, transportu paliwa i odpadów.

Rysunki zaczerpnięto z polecanej przez nas książki Paula G. Hewitta *Fizyka wokół nas* (Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001).

Z.G-M